

# EUROPEAN PATENT OFFICE

AB (2)

## Patent Abstracts of Japan

PUBLICATION NUMBER : 2001116706  
PUBLICATION DATE : 27-04-01

APPLICATION DATE : 22-10-99  
APPLICATION NUMBER : 11300700

APPLICANT : SUMITOMO KINZOKU TECHNOL KK;

INVENTOR : YOSHIDA MASASHI;

INT.CL. : G01N 23/22

TITLE : APPARATUS AND METHOD FOR EVALUATING MATERIAL USING POSITRON

ABSTRACT : PROBLEM TO BE SOLVED: To provide an apparatus and method for evaluating material capable of allowing more positrons to be incident while reducing energy loss even if a radiation source and a material to be measured are arranged in an isolated state and capable of easily performing the heating or cooling of the sample to be measured and various measurements in an apparatus for allowing a positron to be incident on a material to measure the life thereof and generated  $\gamma$ -rays.

SOLUTION: This material evaluating apparatus has a mechanism consisting of a positron radiation source, an electromagnetic lens, a positron detector and a  $\gamma$ -ray measuring device and capable of fixing the positron radiation source and the electromagnetic lens so as to arbitrarily change the distance between them and capable of holding at least the positron flight route from the positron radiation source to a material to be measured under vacuum. In this material evaluating apparatus, the center position of the positron radiation source is present outside the magnetic field of the electromagnetic lens and set within the range from the upper end of the magnetic field of the electromagnetic lens to the distance 1.5 times the effective caliber of the electromagnetic lens. A material is evaluated by measuring the life of the positron incident on the material by this apparatus.

COPYRIGHT: (C)2001,JPO

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2001-116706

(P2001-116706A)

(43) 公開日 平成13年4月27日 (2001.4.27)

(51) Int.Cl.<sup>7</sup>

識別記号

F I

テーマコード (参考)

G 0 1 N 23/22

G 0 1 N 23/22

2 G 0 0 1

審査請求 未請求 請求項の数 7 O L (全 8 頁)

(21) 出願番号 特願平11-300700

(22) 出願日 平成11年10月22日 (1999. 10. 22)

(71) 出願人 396020800

科学技術振興事業団

埼玉県川口市本町4丁目1番8号

(71) 出願人 599149278

白井 泰治

京都府京都市北区鷹峯土天井町23-1

(71) 出願人 592244376

住友金属テクノロジー株式会社

兵庫県尼崎市扶桑町1番8号

(72) 発明者 白井 泰治

京都府京都市北区鷹峯土天井町23-1

(74) 代理人 100083585

弁理士 穂上 照忠 (外1名)

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 陽電子を用いた材料評価装置および評価方法

(57) 【要約】

【課題】陽電子を材料に入射してその寿命および発生γ線を計測する装置において、線源と被測定材料とを隔離して設置しても、より多くの陽電子をエネルギー損失少なく入射でき、それによって被測定試料の加熱や冷却および種々の計測が容易にできる装置、およびその計測方法の提供。

【解決手段】陽電子線源、電磁レンズ、陽電子検出器、γ線測定器からなり、陽電子線源と電磁レンズとの距離を任意に変えて固定できる機構を有し、かつ少なくとも陽電子線源から被測定材料までの陽電子飛翔経路は、真空中に保持できる材料評価装置。陽電子線源の中心位置が、電磁レンズの磁場の外にあり、電磁レンズ磁場の上端から電磁レンズの有効口径の1.5倍の距離までの範囲内である上記の材料評価装置。およびこれらの装置を用いた、材料に入射された陽電子の寿命の測定による材料評価の方法。

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】陽電子線源、電磁レンズ、陽電子検出器、および $\gamma$ 線測定器を有する陽電子を被測定材料に入射し、入射後陽電子の寿命および放出 $\gamma$ 線を測定する装置であって、電磁レンズを間において、陽電子線源、電磁レンズおよび被測定材料がその順に同一軸上に配置されていること、陽電子線源と電磁レンズとの距離を前記軸上にて任意に変えて固定できる機構を有すること、および少なくとも陽電子線源から被測定材料までの陽電子飛翔経路は真空中に保持できること、を特徴とする材料評価装置。

【請求項2】陽電子線源の中心位置が、電磁レンズおよび被測定材料のそれぞれの中心位置を結ぶ軸上の、被測定材料とは反対側で電磁レンズの磁場の外にあり、電磁レンズ磁場の上端から電磁レンズの有効口径の1.5倍の距離までの範囲内であることを特徴とする請求項1に記載の材料評価装置。

【請求項3】陽電子の検出器が、アバランシェフォトダイオードであることを特徴とする請求項1または2に記載の材料評価装置。

【請求項4】陽電子の飛翔経路は $1 \times 10^{-4}$  Torr以下の圧力に保持されていることを特徴とする、請求項1、2または3に記載の材料評価装置。

【請求項5】陽電子検出器と、被測定材料との間にさらにもう一つの電磁レンズが配置されていることを特徴とする請求項1、2、3または4に記載の材料評価装置。

【請求項6】被測定材料を真空中にて加熱または冷却する器具を備えていることを特徴とする請求項1、2、3、4または5に記載の材料評価装置。

【請求項7】請求項1、2、3、4、5または6に記載の装置を用いて材料に入射された陽電子の寿命、もしくは放出 $\gamma$ 線、またはその両者を測定することを特徴とする材料評価の方法。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、 $\beta^+$ 壊変型放射性同位体を線源として得られた陽電子を材料に入射し、その寿命を計測したり、発生する $\gamma$ 線を計測することにより、金属、半導体、化合物等の材料中の、主として空孔、空孔集合体、転位など結晶の欠陥情報を検知し評価するのに用いる装置、および方法に関する。

## 【0002】

【従来の技術】近年の高度かつ精密な技術の進展に伴い、様々な分野において用いる材料に対する要求はますます厳しくなり、不純物がきわめて少なく、その上、内在する欠陥も極度に低減された材料が強く要望されるようになってきている。たとえば、超高密度集積回路（超LSI）などの基板に用いられるシリコンでは、回路の安定動作のため、テンナイン%以上の超高純度であって、しかも転位は皆無で空孔や空孔集合体のようなわずかな欠

陥、すなわち結晶学的微小欠陥も可能な限り少ない単結晶が要求される。また、金属の高温強度、疲労強度、破壊強度など、極限状態で使用される場合の強度に対し、わずかな欠陥すなわち転位ばかりでなく空孔や空孔集合体のような結晶学的微小欠陥も、大きな影響を及ぼしてくる。このような、材料中に存在する原子空孔、空孔集合体、あるいは転位のような結晶格子の欠陥の種類や量などを、きわめて敏感に検出する方法に陽電子寿命を測定したり、陽電子の消滅する際に発生する $\gamma$ 線を計測評価する方法がある。

【0003】陽電子とは、電子と同じ質量を有し、電子と全く同じ絶対値のプラスの電荷を持った素粒子の一つであり、特定の放射性同位元素の崩壊過程で発生する。この陽電子（ $\beta^+$ ）は、金属など材料の中に入射すると短時間で入射の運動エネルギーをなくし、その後の挙動は通常の電子と同じ熱運動となる。金属、半導体、化合物等の材料は、プラスの電荷を有する核の周りにマイナスの電荷を持つ電子が取り囲んだ構造である、原子の集合体からできており、これらの材料の多くは、その集合体を構成する原子が、3次元空間に規則正しく立体的な格子状配列をした結晶体の形態を取っている。たとえば金属などの結晶では、プラスの電荷を持つイオンの配列からできているので、その中に入った陽電子は、イオンとは同符号同志のため反発しあって結晶格子間に広がり、動き回っている電導電子などと衝突し合体して消滅する。

【0004】しかし、空孔や転位など原子の不足した結晶格子の欠陥は、相対的にマイナスに帯電しているので、プラスの陽電子はその部分にまず捕獲され、やがては電子と衝突して合体消滅する。この陽電子が電子と衝突して合体消滅するとき、エネルギーが511 keVの、方向がほぼ正反対の2本の $\gamma$ 線を放出する。陽電子が材料に入射してから、電子と衝突して消滅するまでの時間は、欠陥のない部分にある場合と、欠陥に捉えられた場合とでは異なり、欠陥の形によっても異なる。そこで、陽電子の入射より消滅までの時間変化を解析すれば、欠陥の状態を把握することができるのである。また、陽電子と電子との衝突消滅から発生する $\gamma$ 線は、電子の運動によるドップラー効果で波長のずれを生じ、さらに正反対の方向に放出される $\gamma$ 線の相対角度も、その電子の持つ運動量によってずれを生じる。これらを解析することにより、さらに詳しく欠陥の情報を知ることができ、材料の状態をより精密に評価できる。

【0005】陽電子は、前述のように $\beta^+$ 壊変型放射性同位体の崩壊過程で発生する。そこで一般的には、線源としてこの放射性同位体を用い、線源と被測定材とを密着させて計測される。たとえば、 $^{22}\text{Na}$ は半減期が長く、入手しやすく取り扱いが容易で、 $\text{NaCl}$ などの形をしていて化学的にも安定であり、通常Ni箔などのカプセルに封入されて線源として使用される。この $^{22}\text{Na}$

は $\beta^+$ 崩壊の際、1.28MeVの $\gamma$ 線を放出するので、線源を被測定材料にて挟む形にして密着させておき、シンチレーションカウンタなどの検出器を用意して、1.28MeVの $\gamma$ 線を感知後、511keVの $\gamma$ 線線が検出されるまでの時間を計測する。すなわち、線源と材料との距離がきわめて近いので、1.28MeVの $\gamma$ 線が放出された時が陽電子の材料に入射したスタート時刻であり、511keVの $\gamma$ 線が検出された時が、陽電子の消滅した時刻とすることができる。このようにして、両者の時間差を測定して陽電子寿命スペクトルを得、結晶の欠陥を評価するのである。

【0006】しかしながら、試料を加熱や冷却して状態を変えたい場合とか、あるいは異形状の試料などには、線源に被測定試料を密着させる方法では限界があり、自由に計測を実施することが困難である。

【0007】これに対して、本発明者らの一人は、陽電子線源と被測定材料とを離して配置し、線源と被測定材料の間に薄いプラスチックシンチレータを置き、そこを陽電子が通過するのを検出して、材料への陽電子の入射時刻を知る方法を提案している。金属の場合、陽電子が入射してから消滅するまでの時間は、100~300ps (ピコ秒:  $10^{-12}$ 秒) 程度である。このような短時間の計測であるため、線源にて発生した陽電子が空間を飛翔して被測定材料に入射するまでに要する時間も測定誤差を大きくするので、電磁レンズで特定のエネルギーの陽電子を選別する。前述の線源と被測定材料とを密着させた場合は、線源の $\gamma$ 線と被測定材料からの $\gamma$ 線を計測するので、 $\gamma$ - $\gamma$ 計測法と呼ぶこととすれば、この方法は直接陽電子 $\beta^+$ を検出してスタート時刻とするので、以下この方法を $\beta^+$ - $\gamma$ 計測法と言うこととする。

【0008】このように、線源と被測定材料とを離して配置すると、S/N比が劣ることや、陽電子がシンチレータから被測定材料まで飛翔するときの時間差によると考えられる分解能低下等の問題がある。そこで、放出された陽電子を、質量分析に用いるものと同様な平行に置かれたセクター型磁極の間を通過させたり、電磁レンズを通過させたりして、特定範囲のエネルギーを持つ陽電子のみを分別し、収束してから入射させる等の改善をおこない、これらの問題の解決をはかっている(白井泰治他: 日本金属学会誌, 第59巻第6号(1995), p.679, および白井泰治: 生産と技術, 第48巻第4号(1996), p.50)。この $\beta^+$ - $\gamma$ 計測法によれば、試料と線源を分離できるので、被測定材料を加熱、あるいは冷却した状態で計測することや、異形状の材料を計測することが可能になり、さらにスタート信号の検出効率が高くなる。

【0009】しかし、この線源と被測定材料とを大きく離して配置する $\beta^+$ - $\gamma$ 計測法は、線源で発生した陽電子数に対し、試料に入射する陽電子の数が $\gamma$ - $\gamma$ 計測法に比してきわめて少なくなるという難点がある。このため同じ線源を用いれば、計測時間が大幅に増大し、入射

陽電子数を増そうと思えば、高強度の放射性同位体の線源が必要となり、安全性の問題も生じてくる。

【0010】

【発明が解決しようとする課題】本発明の目的は、陽電子を材料に入射してその寿命および発生 $\gamma$ 線を計測する装置において、線源と被測定材料とを隔離して設置しても、より多くの陽電子を被測定材料に入射でき、それによって被測定試料の加熱や冷却も可能で、種々の計測が容易にできる装置、およびその計測方法を提供することにある。

【0011】

【課題を解決するための手段】本発明者らは、従来おこなわれてきた $\gamma$ - $\gamma$ 計測法に比して、多くの利点のある $\beta^+$ - $\gamma$ 計測法の最大の難点である計測時間の大幅増大を改善するための検討をおこなった、前述のように $\beta^+$ - $\gamma$ 計測法では、線源と被測定材料とを離し、その間に陽電子検出のためのシンチレータを配置するが、分解能向上のため陽電子線のエネルギー選別を目的に電磁レンズを用いている。そこでこの電磁レンズをエネルギー選別だけでなく陽電子線の集束にも活用して、被測定材料へ入射される陽電子の数を増すことを検討した。

【0012】電磁レンズは電子顕微鏡などで、電子線の集束に使われるが、この場合、スリットなどで平行にされた電子の流れを対象にしており、加速電圧は任意に選定できる。これに対し、陽電子の線源は放射性同位体を用いるので、そこからは全方向に均等に陽電子が放出されている。この全方位に放出される陽電子を少しでも多く集束し被測定材料方向へ向く数を増すためには、取り込む陽電子数を多くできるよう電磁レンズの口径を大きくする必要がある。

【0013】また陽電子線の材料への入射深さを変えるには、加速電圧すなわち放射エネルギーを変える必要があるが、そのためには線源を変えなければならない。しかし、線源には $\beta^+$ 壊変型放射性同位体を用いるので、陽電子線の放射エネルギーの選択は限られる。たとえば、よく用いられる $^{22}\text{Na}$ では、陽電子が350keVに中心を持つエネルギー分布をしており、 $^{68}\text{Ge}$ では800keVである。これら2種の陽電子線を同様に集束しようとすれば、レンズの磁場強さを大きく変えなければならない。しかし、電磁レンズの口径が大きくなると、磁場を強くするには強力な励磁が必要であり、そのためにはコストが嵩むので、適用する磁場の強さには限界がある。このため、線源を変えた場合、それに見合う磁場強さを選定するのは必ずしも容易ではない。

【0014】そこで、一定の口径の電磁レンズを用いて、レンズの磁場強さは変えずに放射エネルギーの異なる線源に適應させ、しかもできるだけ多くの陽電子を被測定材料に入射できる手段を、飛翔する陽電子軌道のシミュレーション計算で推測してみた。その結果、線源から全方位に放出される陽電子に対しては、レンズと線源と

の距離を変えることにより、被測定材料に入射する陽電子数を最大にできる位置のあることがわかった。すなわち線源に応じて電磁レンズとの距離を変えられるようにしておけばよい。また、レンズと線源の位置を調整することによって、被測定材料などに対する陽電子線の集束する焦点位置を変えることもできる。

【0015】電磁レンズに対し線源の位置は、線源の中心がレンズの磁場の中に入っても集束される陽電子数を増すことができる。しかし、線源をレンズの磁場の中に入れると、被測定材料に向けて放出される陽電子に加わる有効な磁場の長さが減少するので、より強力な磁場が必要となる。ことに陽電子線の放射エネルギーの大きい線源を有効に適用しようとすれば、磁場強さを大幅に増さねばならない。

【0016】これに対し、線源をレンズの磁場の外に置けば、集束できる陽電子の数は多少劣るかもしれないが、レンズの磁場を強くすることなく集束が可能である。このように、磁場強さを増えることなく被測定材料に入射する陽電子数を増すことができるので、電流によって磁場強さを増える電磁石ではなく、永久磁石によって電磁レンズを構成してもよい。

【0017】線源と被測定材料とを離して配置した場合、発生した陽電子が空間を長距離飛翔して被測定材料に入射することになるが、陽電子は電荷の符号が異なるだけで、電子と同じ質量を持った粒子と考えられる。電子顕微鏡ばかりでなく、電子ビーム機器やブラウン管、古くは真空管など、電子線を取り扱う場合は、電子が気体分子と衝突して散乱したり、その飛翔エネルギーを失ったりすることをできるだけ少なくするため、通常 $10^{-4}$  Torr以下の真空にされる。そこでこの陽電子を入射させる場合も、線源と被測定材料との間の空間を電子取り扱い機器と同様な高真空にしてみた。その結果、感度が向上し、電磁レンズによるエネルギー分別効果も相まって、S/N比が大きく改善されることが明らかになった。

【0018】 $\beta^+-\gamma$ 計測法では、被測定材料に接近した位置において通過する陽電子を検出し、スタート時点とする。この陽電子の検出には、できるだけ薄くしたプラスチックシンチレータを当初使用していた。しかし、 $500\mu\text{m}$ 程度まで薄くしても陽電子のエネルギーの20%近い損失を避けられず、これ以上薄くすることは、検出感度の低下から困難であった。このエネルギー損失は、測定時間を増すばかりでなく、被測定材料への注入深さを浅くする。そこで、透過によるエネルギー損失をできるだけ少なくでき、かつ高感度という点から、半導体受光素子のアバランシェフォトダイオード（なだれダイオード：APD）の利用を検討した。アバランシェフォトダイオードは、光通信用の受光用として用いられる、きわめて高感度の素子である。P型のシリコン基板にエピタキシャル成長させた高抵抗層（ $\pi$ 層）上に、アバランシェ領域で作動させるP層とN層が形成されており、厚さが $50\mu$

$\text{m}$ 未満のものまで製造できる。しかし、機械的強度の点から $100\mu\text{m}$ 程度のものが適当と判断された。この薄膜のアバランシェフォトダイオードの適用により、より高感度にでき、そして陽電子のエネルギー損失をより少なくすることができた。

【0019】線源を離すことによって、被測定材料に対し加熱や冷却などその測定時の条件を変えることができ、さらに、シンチレーションカウンタなどの計測機器を、被測定材料近傍により容易に取り付けることができる。このようにして、陽電子線源をその放射エネルギーに応じ、電磁レンズからの距離を変えられるようにすることにより電磁レンズの磁場を大きく変えることなく、利用できる陽電子数を増すことができた。そして、線源と被測定材料の間の陽電子が飛翔する空間を真空にして衝突による散乱が低減でき、さらに厚さを薄くしたアバランシェフォトダイオードを用いて陽電子検出時のエネルギー損失を軽減できた。このようにして材料の陽電子寿命の $\beta^+-\gamma$ 計測法において、従来よりも多くの種々の条件下での材料評価を、より精度よくかつ短時間でおこなうことができるようになったのである。

【0020】本発明の装置を用いることによる、陽電子が被測定材料に入射してから消滅するまでの時間計測、放出される $\gamma$ 線の計測、ドップラー効果の計測、あるいは2本の $\gamma$ 線角度の計測等は、従来陽電子消滅法としておこなわれている方法をそのまま適用すればよい。本発明の要旨は次の通りである。

(1)陽電子線源、電磁レンズ、陽電子検出器、および $\gamma$ 線測定器を有し、陽電子を被測定材料に入射し、入射後陽電子の寿命および放出 $\gamma$ 線を測定する装置であって、電磁レンズを間において、陽電子線源、電磁レンズおよび被測定材料がその順に同一軸上に配置されていること、陽電子線源と電磁レンズとの距離を前記軸上に任意に変えて固定できる機構を有すること、および少なくとも陽電子線源から被測定材料までの陽電子飛翔経路は真空に保持できること、を特徴とする材料評価装置。

(2)陽電子線源の中心位置が、電磁レンズおよび被測定材料のそれぞれの中心位置を結ぶ軸上の、被測定材料とは反対側で電磁レンズの磁場の外にあり、電磁レンズの有効磁場上端から電磁レンズの有効口径の1.5倍以内までの範囲内であることを特徴とする上記(1)の材料評価装置。

(3)陽電子の検出器が、アバランシェフォトダイオードであることを特徴とする上記(1)または(2)の材料評価装置。

(4)陽電子の飛翔経路は $1 \times 10^{-4}$  Torr以下の圧力に保持されていることを特徴とする、上記(1)、(2)または(3)の材料評価装置。

(5)陽電子検出器と、被測定材料との間にさらにもう一つの電磁レンズが配置されていることを特徴とする上記(1)、(2)、(3)または(4)の材料評価装置。

(6)被測定材料を真空中にて加熱または冷却する器具を備えていることを特徴とする上記(1)、(2)、(3)、(4)または(5)の材料評価装置。

(7)上記(1)、(2)、(3)、(4)、(5)または(6)の装置を用いて材料に入射された陽電子の寿命の測定、もしくは放出 $\gamma$ 線、またはその両者を測定することを特徴とする材料評価の方法。

#### 【0021】

【発明の実施の形態】本発明の装置の構成を、図1に示した模式図にて詳細に説明する。各構成部は同一軸上に、陽電子線源1、電磁レンズ3、陽電子検出器5、被測定材料6の順に配列され、被測定材料6の近傍には放射線検出器7を設置し、線源1から被測定材料6までの陽電子の飛翔経路は真空中に排気できる容器2中に置かれる。容器2の少なくとも電磁レンズ3が置かれる部分では、非磁性材料を用いる。陽電子線源1は、線源保持具9に取り付けられ、移動および固定治具11により前記軸上を任意に位置を変えて固定できるものとする。

【0022】陽電子線源1から放出された陽電子線4は、電磁レンズ3で集束され、陽電子検出器5を通して被測定材料6に入射され、被測定材料6内で陽電子は電子と衝突して消滅し、 $\gamma$ 線を放出する。陽電子を検出器5で検出してから、被測定材料6より放出される $\gamma$ 線(511KeV)を感知するまでの時間を計測すれば、陽電子の寿命を知ることができる。

【0023】陽電子線源1は、陽電子を放出する放射性同位体であれば、とくに種別は問わないが、通常用いられる金属製カプセルに封入された、陽電子放出が多く、半減期の長い、 $^{22}\text{Na}$ (陽電子平均エネルギー:350KeV)や $^{68}\text{Ge}$ (同:800KeV)が適用できる。

【0024】電磁レンズ3は、図2に模式的に示すように、中心軸の周りに同軸状に置かれた導磁性軟鉄の棒3aと巻線3wとからなり、巻線3wに電流を通じて励磁された磁極3tと3bとの間のギャップ13に生じる磁束の漏洩磁場により、レンズ磁場を構成する。したがって、レンズの有効磁場は、図2中に点線14tと14bで上下限を示すように、磁極3tまたは3bのコーナー部以内に限定される。この有効磁場は、線源1あるいは容器2の大きさにもよるが、直径20~150mm、高さ20~150mm程度の空間内にて、十分な磁束密度の垂直方向磁場が得られることが望ましい。磁場の強さは、レンズ中心位置にて0.1~0.3T程度得ることができれば、十分に陽電子を収束できる。このレンズの励磁には、所要の磁場強度が得られるなら、永久磁石を用いてもよい。

【0025】陽電子線源は、電磁レンズの中心および被測定材料の中心を結ぶ軸の延長上で電磁レンズに対し被測定材料とは反対側に配置するが、陽電子線源と電磁レンズとの距離は、前記軸上にて任意の位置に移動でき、かつその位置で固定できる機構を有するものとする。これは、電磁レンズの磁場強度を変えずに、用いる線源に

より、最も多くの陽電子を被測定材料に集束させることを容易にするためである。この移動および固定は一般に用いられる治具を活用すればよく、特に限定するものではないが、電磁レンズに近づく部分は、磁場を乱さない非磁性材料を用いるのが望ましい。前記軸上にて任意に変えて固定できる治具は、真空中にされる容器内に配置してもよく、図1に例示するように、リングなどを用い可動軸をシールして、容器外に配置してもよい。

【0026】電磁レンズに対する陽電子線源は、線源の中心位置が有効磁場の外にあって、電磁レンズの有効磁場上端14tを超え、電磁レンズの有効口径ないしは容器の内径の1.5倍以内までの範囲内であることとする。すなわち、図2に示される間隔13が、0を超え容器2の内径の1.5倍以下の範囲内の、任意の位置に移動でき、固定できればよい。線源の中心位置がレンズの有効磁場上端を超えることとするのは、これより下の位置では磁場をより強くする必要が生じるためである。また、電磁レンズの有効口径の1.5倍以内までとするのは、これ以上距離を離せば、レンズに入る陽電子が減少してしまうからである。ここで、電磁レンズの有効口径とは、電磁レンズ3そのものの口径ではなく、レンズ内に配置される容器2の内径である。陽電子は、レンズに対し立体角約35°以内で線源から放射されたものが収束できるが、レンズの有効磁場内であっても容器壁に衝突すれば利用できない。そこで、電磁レンズの配置された部分における容器内径、すなわち有効口径の1.5倍以内に線源を置くこととする。

【0027】電磁レンズ3と被測定材料6との間に陽電子検出器5を置く。これは薄いプラスチックシンチレータと光電子倍增管との組み合わせでもよいが、プラスチックシンチレータは薄くすると感度が大きく低下するので、薄くしても感度の低下の少ない、アバランシェフォトダイオードを用いるのがよい。しかしその厚さを薄くし、かつ透過有効面積を大きくすることは、強度の低下および作製の困難さから限界がある。そこで、陽電子線が電磁レンズにより収束する位置近傍に設置すれば、ダイオードの透過有効面積を大きくしなくてもよい。この面積が大きくなり範囲で用いることにして、シリコン基板、 $\pi$ 層等を薄くした結果、厚さ50~200 $\mu\text{m}$ の範囲のアバランシェフォトダイオードが適用できることがわかった。50 $\mu\text{m}$ を下回ると機械的強度が不足し、200 $\mu\text{m}$ を超える厚さになると検出時のエネルギー吸収が大きくなる。

【0028】被測定試料からの $\gamma$ 線検出器7は、通常の $\gamma$ 線計測に用いられるたとえばシンチレーションカウンタを使えばよい。この場合1台の計測器でもよいが、陽電子の電子との衝突による消滅は、必ず互いに反対方向の2本の $\gamma$ 線が放出されるので、2台の計測器を被測定材料を中心に相互に向かい合わせに設置し、2台で同時に検出された $\gamma$ 線のみ計測すれば、検出精度が向上す

る。

【0029】陽電子は大気中を飛翔するとき、空気分子と衝突し、エネルギーの減少や散乱を生じるので、線源1、陽電子検出器5、被測定試料6等は、真空中に排気できる容器2の中に入れ、線源1から被測定材料6までの陽電子の飛翔経路が真空中に保たれるようにする。このときの真空容器内の圧力は、通常のブラウン管など電子線を扱う場合と同様、圧力が $1 \times 10^{-4}$  Torrを下回る真空とするのが望ましい。これによって、被測定試料に入射する陽電子数が増し、感度の向上や時間の短縮が可能になる。

【0030】陽電子を利用する欠陥測定には、陽電子の被測定材料入射後消滅までの寿命を計測する方法の他に、消滅時に放出される $\gamma$ 線のエネルギー分布や、放出される2つの $\gamma$ 線の間の、正反対方向からのわずかなずれ角度を計測することがある。たとえば、エネルギー分布の変化を示すドップラー広がりやを計測しSパラメータを求めたり、面状の $\gamma$ 線検出器を利用し、2次元角相関スペクトルを求める場合などである。この場合は、入射時の陽電子を検出する必要がなく、陽電子検出器5を使用しないか、取り外して計測すればよい。

【0031】陽電子は、その通過を検出した後、陽電子線の幅が広がらない間に被測定材料に入射することが望ましい。このため、陽電子検出器と被測定材料とを接近させる必要があるが、これによって被測定材料の加熱や冷却用器具の設置、あるいは放出 $\gamma$ 線の計測用器具の取り付け位置に制限を受ける。そこで、図3に示すように、陽電子検出器5と被測定材料6との間に、もう一つ電磁レンズ16を置き、検出器5を通過した陽電子線4を再度集束して、被測定材料6に入射させてもよい。このようにすれば、陽電子線検出器の位置に制限されることなく種々の治具すなわち加熱や冷却用器具17や測定器を設置することができる。また、二段階に収束することにより陽電子のエネルギー分別がより精密におこなわれ、測定精度が向上する。

【0032】

【実施例】図3に示した構成の、電磁レンズ二台を設置した陽電子を用いた材料評価装置の試作例を説明する。真空容器2として直径40mm、肉厚3mm、長さ約400mmのアルミニウム合金管(A6063TD)を利用し、管上端には線源1を設置する治具を取り付けるためのフランジを設け、ここに線源1を、真空シール10を通じ上下方向の任意位置に移動固定できる治具11に、線源保持具9を介して取り付け付けた。管下端には被測定材料6を設置する治具のためのフランジを設け、管のほぼ中央部には同径の真空排気口8を設けた。この排気口8の近くには、陽電子検出器5を取り付けた。電磁レンズ3は、励磁コイルの外側を磁石用軟鉄で覆った外鉄心形状とし、レンズの有効磁場が直径72mm、高さ50mmの空間で、この空間の中心位置の磁場が最大0.31Tのものである。通過する陽

電子の検出器5には、有効光電面が5mm角で厚さ100 $\mu$ mのアバランシェフォトダイオードを用いた。陽電子検出器5と被測定材料6との間には線源の直下に用いたものと同型の電磁レンズ16を設置した。陽電子線源から被測定材料面までの距離は、約300mmとした。真空排気は排気速度160L/sの油回転真空ポンプと、到達圧力 $10^{-8}$  Torr、排気速度145L/sのターボ分子ポンプとの組み合わせである。

【0033】陽電子線源に100マイクロキュリーの $^{22}\text{Na}$ を用い、線源の中心を電磁レンズの有効磁場の上端より5mm上方すなわち、図2におけるLを5mmにして、2つの電磁レンズの中心位置の磁場をそれぞれ0.12Tとした。被測定材料として厚さ1mmのシリコンウエハを用い、その下側に $\text{BaF}_2$ のシンチレーションカウンタを近接して配置し、真空排気の圧力を $10^{-6}$  Torrとした後、陽電子の寿命を測定してみた。その際に計測された寿命測定に有効な陽電子数は、50カウント/秒であり、線源の位置をこれより高くしても低くしても、カウント数の低減が認められた。比較のため、同じ100マイクロキュリーの $^{22}\text{Na}$ を用い、線源を2枚のシリコンウエハで挟む通常の方法で陽電子寿命を測定した。その際の有効計測数は200カウント/秒であった。

【0034】次に、線源を100マイクロキュリーの $^{68}\text{Ge}$ に変え、線源の中心を有効磁場の上端より15mm上方にし、2つの電磁レンズの中心位置の磁場をそれぞれ0.13Tとし、前回同様、厚さ1mmのシリコンウエハにて陽電子の寿命を測定した。その結果、60カウント/秒の有効計測数を得ることができた。

【0035】このように、本発明の装置を用いれば、線源と被測定材料との距離を300mmとしたにもかかわらず、有効な陽電子の計測数の大幅低減を抑止することができる。また、線源の陽電子エネルギーが大きく変わったにもかかわらず、電磁レンズの磁場は大幅に変える必要がなく、効果的に陽電子を集束させることができる。

【0036】

【発明の効果】陽電子を材料に入射してその寿命を計測したり、生じた $\gamma$ 線を計測する材料評価法では、従来、陽電子線源と被測定材料とを密着して配置していた。これに対し本発明の装置は、陽電子線源と被測定材料とを離して設置するものであり、しかも有効陽電子数の大幅低下を補うことが可能である。また、線源の陽電子エネルギーが大きく変わっても、集束用の電磁レンズの磁場強さを大きく変えることなく適用できる。これによって、材料中に存在する結晶学的微少欠陥が精密に評価できる陽電子寿命の測定や発生 $\gamma$ 線エネルギー計測を、より効果的に活用することができ、LSI基板など精密技術に用いられる材料の品質向上に資することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】陽電子を用いた材料評価装置の主要構成部品の配置を説明する模式図である。

【図2】電磁レンズと、陽電子線源との位置関係を説明する図である。

【図3】陽電子収束のための電磁レンズを2段にした、陽電子を用いた材料評価装置の主要構成部品の配置を説明する模式図である。

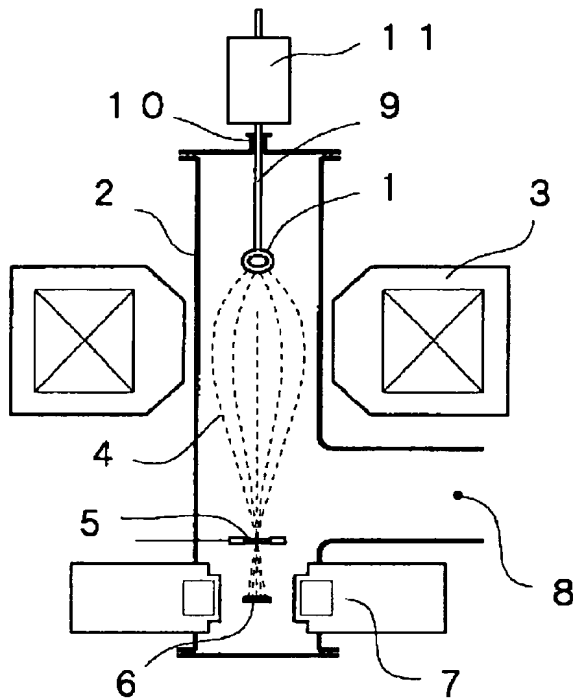
【符号の説明】

1 陽電子線源、2 真空容器、3 電磁レンズ、3a 電磁レンズ枠、3t 電磁レンズ磁極、3b 電磁

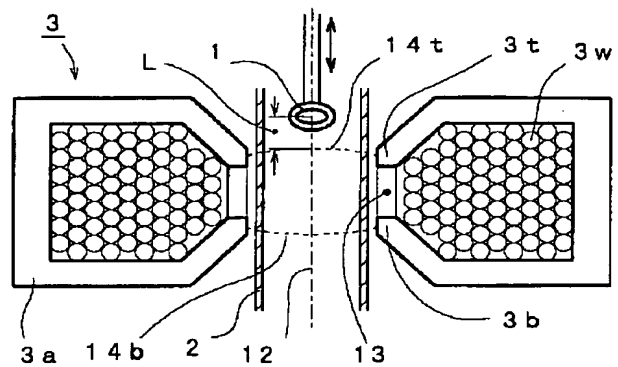
レンズ磁極、3w 電磁レンズ巻線、4 陽電子線、

5 陽電子検出器、6 被測定材料、7  $\gamma$ 線検出器、8 真空排気口、9 線源保持具、10 真空シール部、11 線源移動固定治具、12 レンズ軸、13 レンズ磁極間ギャップ、14t 有効磁場上限、14b 有効磁場下限、16 電磁レンズ、17 被測定材料の加熱・冷却用器具

【図1】

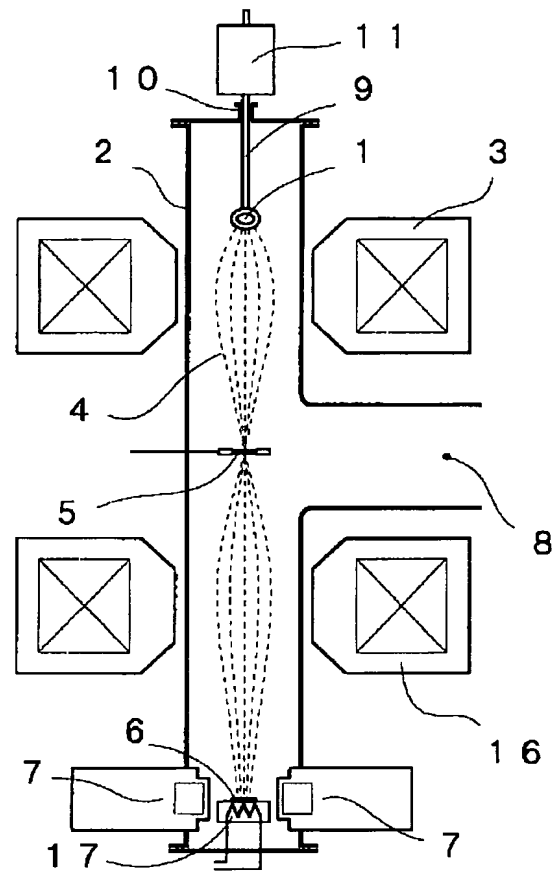


【図2】





【図3】



フロントページの続き

(72)発明者 荒木 秀樹

兵庫県宝塚市売布4-15-26

(72)発明者 吉田 政司

兵庫県尼崎市扶桑町1番8号住友金属テクノロジー株式会社内

Fターム(参考) 2G001 AA03 AA09 BA28 CA02 CA03  
DA01 DA02 DA06 DA07 DA10  
GA05 GA10 GA13 GA16 GA17  
JA01 KA03 PA07 PA30 RA03  
SA29 SA30

JAPANESE

[JP,2001-116706,A]

---

CLAIMS DETAILED DESCRIPTION TECHNICAL FIELD PRIOR ART EFFECT OF THE INVENTION TECHNICAL  
PROBLEM MEANS EXAMPLE DESCRIPTION OF DRAWINGS DRAWINGS

---

[Translation done.]

## \* NOTICES \*

Japan Patent Office is not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. \*\*\*\* shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

---

 CLAIMS
 

---

## [Claim(s)]

[Claim 1] Carry out incidence of the positive electron which has a positive electron line source, an electromagnetic lens, a positive electron detector, and a gamma ray measuring instrument to a measured ingredient, and are equipment which measures the life and emission gamma ray of after [ incidence ] positive electron, and an electromagnetic lens is set in between. The positive electron line source, the electromagnetic lens, and the measured ingredient are arranged on the same shaft at the order, They are having the device which changes the distance of a positive electron line source and an electromagnetic lens into arbitration on said shaft, and can be fixed, and ingredient evaluation equipment characterized by the ability to hold the positive electron trajectory from a positive electron line source to a measured ingredient to a vacuum at least.

[Claim 2] Ingredient evaluation equipment according to claim 1 with which the center position of a positive electron line source is characterized by for the measured ingredient on the shaft to which each center position of an electromagnetic lens and a measured ingredient is connected being out of the magnetic field of an electromagnetic lens, and being within the limits from the upper limit of an electromagnetic lens magnetic field to effective aperture 1.5 times the distance of an electromagnetic lens in the opposite side.

[Claim 3] Ingredient evaluation equipment according to claim 1 or 2 with which the detector of positive electron is characterized by being the Avalanche photodiode.

[Claim 4] The trajectory of positive electron is ingredient evaluation equipment according to claim 1, 2, or 3 characterized by being held at the pressure of  $1 \times 10^{-4}$  or less Torrs.

[Claim 5] Ingredient evaluation equipment according to claim 1, 2, 3, or 4 characterized by arranging another electromagnetic lens further between a positive electron detector and a measured ingredient.

[Claim 6] Ingredient evaluation equipment given in claims 1, 2, 3, 4, or 5 characterized by having the instrument which heats or cools a measured ingredient in a vacuum.

[Claim 7] The approach of the ingredient evaluation characterized by measuring the life of the positive electron by which incidence was carried out to the ingredient using equipment according to claim 1, 2, 3, 4, 5, or 6, an emission gamma ray, or its both.

---

 [Translation done.]

JAPANESE

[JP,2001-116706,A]

---

CLAIMS DETAILED DESCRIPTION TECHNICAL FIELD PRIOR ART EFFECT OF THE INVENTION TECHNICAL  
PROBLEM MEANS EXAMPLE DESCRIPTION OF DRAWINGS DRAWINGS

---

[Translation done.]

## \* NOTICES \*

Japan Patent Office is not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. \*\*\*\* shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

---

DETAILED DESCRIPTION

---

[Detailed Description of the Invention]

[0001]

[Field of the Invention] This invention relates to the equipment used for mainly detecting and evaluating the defective information on crystals, such as a hole, the hole aggregate, and a rearrangement, in ingredients, such as a metal, a semiconductor, and a compound, and an approach by carrying out incidence of the positive electron obtained considering beta+ disintegration mold radioisotope as a line source to an ingredient, measuring the life or measuring the gamma ray to generate. [0002]

[Description of the Prior Art] With altitude in recent years and progress of a precise technique, the demand to the ingredient used in various fields becomes still severer, there are very few impurities and, moreover, the ingredient with which the defect inherent was also reduced by the degree of pole is demanded strongly. For example, for operational stability of a circuit, it is a super-high grade more than ten nine %, and moreover, there is no rearrangement and the silicon used for substrates, such as super-large scale integration (VLSI), requires the single crystal also with possible few few defects like a hole or the hole aggregate, i.e., a crystallographic very small defect. Moreover, few defects, i.e., not only a rearrangement but a crystallographic very small defect like a hole or the hole aggregate, also do big effect to reinforcement in the case of being used by the extreme situation, such as metaled high temperature strength, fatigue strength, and disruptive strength. There is the approach of carrying out measurement evaluation of the gamma ray generated in case a positive electron life is measured to the approach of detecting very sensitively such an atomic hole that exists in an ingredient, the hole aggregate, a class, an amount of a defect of a crystal lattice like a rearrangement, etc. or positive electron disappears.

[0003] With positive electron, it has the same mass with an electron, and it is one of the elementary particles with the charge of plus of the completely same absolute value as an electron, and generates in the collapse process of specific radioisotope. If incidence of this positive electron (beta+) is carried out into ingredients, such as a metal, incident kinetic energy will be lost for a short time, and subsequent behavior will turn into the same thermal motion as the usual electron. Ingredients, such as a metal, a semi-conductor, and a compound, are made from the atomic aggregate which is the structure which the electron with the charge of minus enclosed in the surroundings of the nucleus which has the charge of plus, and many of these ingredients have taken the gestalt of the crystalline to which the atom which constitutes the aggregate carried out the regular three-dimensional grid-like array to three-dimension space. For example, as a metaled crystal, since it is made of the array of ion with the charge of plus, with ion, the positive electron which entered into it is repelled for a same sign comrade, there is, between crystal lattices, it collides with breadth, the electrical conduction electron which is moving about, coalesces, and disappears.

[0004] However, since the defect of the crystal lattice for which atoms, such as a hole and a rearrangement, were insufficient is relatively charged in minus, the positive electron of plus is first captured by the part, collides with \*\*\*\*\* soon and carries out coalesce disappearance. When this positive electron collides with an electron and carries out coalesce disappearance, energy emits the two gamma rays with the almost opposite direction of 511keV(s). It collides with an electron, and time amount after positive electron carries out incidence to an ingredient until it disappears differs by the case where it is in a part without a defect, and the case where it is caught by the defect, and changes also with forms of a defect. Then, the condition of a defect can be grasped if the time amount change to disappearance is analyzed from the incidence of positive electron. Moreover, the gamma ray generated from collision disappearance with positive electron and an electron produces a gap of wavelength in the Doppler effect by electronic movement, and produces a gap with the

momentum in which the electron has also whenever [ angular relation / of the gamma ray emitted in the still more opposite direction ]. By analyzing these, the information on a defect can be known in more detail and the condition of an ingredient can be evaluated more to a precision.

[0005] Positive electron is generated in the collapse process of beta+ disintegration mold radioisotope as mentioned above. Then, generally, using this radioisotope as a line source, a line source and measured material are stuck and it is measured. For example, that a half-life is long and it is easy to receive, handling is easy and it has forms, such as NaCl, and  $^{22}\text{Na}$  is chemically stable, it is usually enclosed with capsules, such as nickel foil, and is used as a line source. Since this  $^{22}\text{Na}$  emits the gamma ray of 1.28MeV in the case of beta+ collapse, a line source is made into the form inserted with a measured ingredient, and is stuck, detectors, such as a scintillation counter, are prepared, and time amount until the gamma ray line of 511keV is detected is measured after sensing the gamma ray of 1.28MeV. That is, since the distance of a line source and an ingredient is very near, the time of the gamma ray of 1.28MeV being emitted is the start time of day which carried out incidence to the ingredient of positive electron, and the time of the gamma ray of 511keV being detected can consider as the time of day when positive electron disappeared. Thus, both time difference is measured, a positive electron life spectrum is obtained, and the defect of a crystal is evaluated.

[0006] However, it is difficult for there to be a limitation by the method of making a line source stick a device under test to the sample of a variant configuration to heat and cool a sample and change a condition, and to measure freely.

[0007] On the other hand, one person of this invention persons has detached and arranged the positive electron line source and the measured ingredient, placed thin plastic scintillator between the line source and the measured ingredient, detected that positive electron passed through that, and has proposed the approach of getting to know the incidence time of day of the positive electron to an ingredient. In the case of a metal, time amount after positive electron carries out incidence until it disappears is 100 - 300ps (picosecond: 10 to 12 seconds) extent. Since it is measurement of such a short time and the time amount taken for the positive electron generated in the line source to fly, and to carry out incidence of the space to a measured ingredient also enlarges a measurement error, an electromagnetic lens sorts out the positive electron of specific energy. Since calling it gamma-gamma mensuration since the gamma ray of a line source and the gamma ray from a measured ingredient are measured, then this approach detect direct positive electron beta+ and make it start time of day when an above-mentioned line source and an above-mentioned measured ingredient are stuck, suppose that this approach is called beta+-gamma mensuration below.

[0008] thus, the resolution considered to be based on that a S/N ratio is inferior and time difference in case positive electron flies from a scintillator even to a measured ingredient if a line source and a measured ingredient are detached and arranged -- there are problems, such as a fall. Then, pass between the same sector mold magnetic poles as what uses the emitted positive electron for mass analysis placed in parallel, or an electromagnetic lens is passed. It improves classifying only positive electron with the energy of the specific range, and carrying out incidence, after converging etc. Solution of these problems is aimed at (others [ Shirai / Taiji ]: the 59th volume of the Japan Institute of Metals, No. 6 (1995), p.679, and Taiji Shirai:production, a technique, volume [ 48th ] No. 4 (1996), p.50). According to this beta+-gamma mensuration, since a sample and a line source are separable, it becomes possible to measure a measured ingredient in the condition of having heated or cooled, or to measure the ingredient of a variant configuration, and the detection efficiency of a start signal becomes high further.

[0009] However, the beta+-gamma mensuration which detaches this line source and a measured ingredient greatly, and arranges them has the difficulty that the number of the positive electron which carries out incidence to a sample decreases extremely to the number of positive electron generated in the line source as compared with gamma-gamma mensuration. For this reason, if you think that measurement time amount will increase sharply and he will increase the number of incidence positive electron if the same line source is used, the line source of the radioisotope of high intensity will be needed, and the problem of safety will also be produced.

[0010]

[Problem(s) to be Solved by the Invention] Even if the purpose of this invention isolates and installs a line source and a measured ingredient, it can carry out incidence of more positive electron to a measured ingredient, and is by it in the equipment which carries out incidence of the positive electron to an ingredient, and measures the life and a generating gamma ray to offer the equipment which heating and cooling of a device under test are also possible for, and can perform various measurement easily, and its measurement approach.

[0011]

[Means for Solving the Problem] this invention persons performed examination for improving large increase of the

measurement time amount which is the greatest difficulty of beta+-gamma mensuration with many advantages as compared with the gamma-gamma mensuration performed conventionally -- as mentioned above, by beta+-gamma mensuration, although a line source and a measured ingredient are detached and the scintillator for positive-electron detection is arranged to the meantime, the electromagnetic lens is used for the purpose of energy sorting of a positive-electron line for resolution enhancement. Then, it examined utilizing this electromagnetic lens not only for energy sorting but for focusing of a positive electron line, and increasing the number of the positive electron by which incidence is carried out to a measured ingredient.

[0012] Although an electromagnetic lens is an electron microscope etc. and it is used for focusing of an electron ray, acceleration voltage can be selected to arbitration for the flow of the electron made parallel to the slit etc. in this case. On the other hand, since the line source of positive electron uses radioisotope, from there, positive electron is equally emitted in all the directions. In order to increase the number which converge the positive electron emitted to this omnidirection, and turns to measured material orientation, it is necessary to enlarge aperture of an electromagnetic lens so that the number of positive electron to incorporate can be made [ many ]. [ as many / as possible ]

[0013] Moreover, although it is necessary to change acceleration voltage, i.e., radiant energy, in order to change the incidence depth to the ingredient of a positive electron line, for that purpose, a line source must be changed. However, since beta+ disintegration mold radioisotope is used for a line source, selection of the radiant energy of a positive electron line is restricted. For example, in  $^{22}\text{Na}$  used well, positive electron is making energy distribution with a core 350keV(s), and they are 800keV(s) in  $^{68}\text{Ge}$  germanium. If it is going to converge similarly these two sorts of positive electron lines, the magnetic field strength of a lens must be changed a lot. However, when the aperture of an electromagnetic lens becomes large, powerful excitation is required to strengthen a magnetic field, and since cost increases for that purpose, there is a limitation in the magnetic field strength to apply. For this reason, when a line source is changed, it is not necessarily easy to select the magnetic field strength corresponding to it.

[0014] Then, using the electromagnetic lens of fixed aperture, the magnetic field strength of a lens was fitted to the line source from which radiant energy differs, without changing, and guessed the means which can carry out incidence of as many positive electron as possible [ moreover ] to a measured ingredient by simulation count of the positive electron orbit which flies. Consequently, by changing the distance of a lens and a line source from a line source to the positive electron emitted to an omnidirection showed that there was a location as for which the number of positive electron which carries out incidence to a measured ingredient is made to max. Namely, what is necessary is just to enable it to change distance with an electromagnetic lens according to a line source. Moreover, the focal location where the positive electron line to a measured ingredient etc. converges is also changeable by adjusting the location of a lens and a line source.

[0015] The location of a line source can increase the number of positive electron which converges even if the core of a line source enters into the magnetic field of a lens to an electromagnetic lens. However, if a line source is put in into the magnetic field of a lens, since the die length of the effective magnetic field which joins the positive electron emitted towards a measured ingredient will decrease, a more powerful magnetic field is needed. If it is going to apply effectively a line source with the especially large radiant energy of a positive electron line, magnetic field strength must be increased sharply.

[0016] On the other hand, although some number of the positive electron which can converge may be inferior if a line source is placed out of the magnetic field of a lens, it can converge, without strengthening the magnetic field of a lens. Thus, since the number of positive electron which carries out incidence to a measured ingredient can be increased without changing magnetic field strength, not the electromagnet into which magnetic field strength is changed according to a current but a permanent magnet may constitute an electromagnetic lens.

[0017] Although the generated positive electron will carry out long-distance flight of the space and will carry out incidence to a measured ingredient when the line source and the measured ingredient have been detached and arranged, the signs of a charge only differ and positive electron is considered to be a particle with the same mass as an electron. In ancient times, the thermionic tube etc. is usually made into the vacuum of 10 to 4 or less Torrs, in order that an electron may lessen colliding with a gas molecule, and it being scattered about, or losing the flight energy as much as possible, when dealing with an electron ray, not only an electron microscope but an electron beam device, the Braun tube. Then, also when incidence of this positive electron was carried out, space between a line source and a measured ingredient was made into the same high vacuum as an electronic handling device. Consequently, sensibility improved and, also in the energy fractionation effect by the electromagnetic lens, it became clear conjointly that a S/N ratio is improved greatly.

[0018] In beta+-gamma mensuration, the positive electron passed in the location close to a measured ingredient is

detected, and it considers as a start time. The plastic scintillator made as thin as possible was used for detection of this positive electron at the beginning. However, it was difficult from the fall of detection sensitivity to be unable to avoid about 20% of loss of the energy of positive electron, even if it makes it thin to about 500 micrometers, but to make it thin more than this. This energy loss not only increases the measuring time, but makes the impregnation depth to a measured ingredient shallow. Then, the energy loss by transparency could be lessened as much as possible, and use of the Avalanche photodiode (avalanche diode: APD) of a semi-conductor photo detector was considered from the point of high sensitivity. the Avalanche photodiode is used as an object for light-receiving for optical communication -- it is the component of high sensitivity very much. On the high resistive layer (pi layer) which carried out epitaxial growth to the silicon substrate of P type, P layers and N layer which are operated in the Avalanche field are formed, and thickness can manufacture to a less than 50-micrometer thing. However, it was judged from the point of a mechanical strength that an about 100-micrometer thing was suitable. By application of the Avalanche photodiode of this thin film, it was made more to high sensitivity, and the energy loss of positive electron was able to be lessened more.

[0019] By detaching a line source, the conditions at the time of the measurement, such as heating and cooling, can be changed to a measured ingredient, and measuring machine machines, such as a scintillation counter, can be further attached easily near the measured ingredient. Thus, the number of positive electron which can be used was able to be increased, without changing the magnetic field of an electromagnetic lens a lot by enabling it to change the distance from an electromagnetic lens for a positive electron line source according to the radiant energy. And space where the positive electron between a line source and a measured ingredient flies was able to be made into the vacuum, dispersion by collision could be reduced, and the energy loss at the time of positive electron detection has been mitigated using the Avalanche photodiode which made thickness thin further. Thus, it can set to the beta+-gamma mensuration of the positive electron life of an ingredient, and ingredient evaluation under the conditions of much versatility can be performed now with a more sufficient precision rather than before in a short time.

[0020] Measurement of the gamma ray to which it is time-amount-measured and is emitted after the positive electron by using the equipment of this invention carries out incidence to a measured ingredient until it disappears, measurement of the Doppler effect, or measurement of two gamma ray include angles should just apply the approach currently conventionally performed as a positron annihilation method as it is. The summary of this invention is as follows.

(1) Have a positive electron line source, an electromagnetic lens, a positive electron detector, and a gamma ray measuring instrument, carry out incidence of the positive electron to a measured ingredient, are equipment which measures the life and emission gamma ray of after [ incidence ] positive electron, and set an electromagnetic lens in between. The positive electron line source, the electromagnetic lens, and the measured ingredient are arranged on the same shaft at the order, They are having the device which changes the distance of a positive electron line source and an electromagnetic lens into arbitration on said shaft, and can be fixed, and ingredient evaluation equipment characterized by the ability to hold the positive electron trajectory from a positive electron line source to a measured ingredient to a vacuum at least.

(2) Ingredient evaluation equipment of the above (1) with which the center position of a positive electron line source is characterized by for the measured ingredient on the shaft to which each center position of an electromagnetic lens and a measured ingredient is connected being out of the magnetic field of an electromagnetic lens, and being within the limits from the effective magnetic field upper limit of an electromagnetic lens to less than 1.5 times of the effective aperture of an electromagnetic lens in the opposite side.

(3) The above (1) or (2) ingredient evaluation equipment with which the detector of positive electron is characterized by being the Avalanche photodiode.

(4) The trajectory of positive electron is ingredient evaluation equipment of the above (1), (2), or (3) characterized by being held at the pressure of  $1 \times 10^{-4}$  or less Torrs.

(5) The above (1) characterized by arranging another electromagnetic lens further between a positive electron detector and a measured ingredient, (2), (3), or (4) ingredient evaluation equipment.

(6) The above (1) characterized by having the instrument which heats or cools a measured ingredient in a vacuum, (2), (3), (4), or (5) ingredient evaluation equipment.

(7) The approach of the ingredient evaluation characterized by measuring the measurement of the life of positive electron by which incidence was carried out to the ingredient using the equipment of the above (1), (2), (3), (4), (5), or (6), an emission gamma ray, or its both.

[0021]



[Embodiment of the Invention] The mimetic diagram having shown the configuration of the equipment of this invention in drawing 1 explains to a detail. Each configuration section is arranged on the same shaft in order of the positive electron line source 1, an electromagnetic lens 3, the positive electron detector 5, and the measured ingredient 6, and installs a radiation detector 7 near the measured ingredient 6, and the trajectory of the positive electron from the line source 1 to the measured ingredient 6 is placed into the container 2 which can be exhausted to a vacuum. A non-magnetic material is used in the part of a container 2 on which an electromagnetic lens 3 is put at least. The positive electron line source 1 is attached in the line source holder 9, with migration and a fixture 11, shall change a location into arbitration and shall fix said shaft top.

[0022] The positive electron line 4 emitted from the positive electron line source 1 converges with an electromagnetic lens 3, incidence is carried out to the measured ingredient 6 through the positive electron detector 5, and positive electron collides with an electron within the measured ingredient 6, and it disappears, and emits a gamma ray. After a detector 5 detects positive electron, if time amount until it senses the gamma ray (511KeV) emitted from the measured ingredient 6 is measured, the life of positive electron can be known.

[0023] If the positive electron line source 1 is radioisotope which emits positive electron, although not asked, there is much positron emission enclosed with the metal capsule usually used, and, especially as for classification, it can apply long  $^{22}\text{Na}$  (positive-electron average energy: 350KeV) and  $^{68}\text{Ge}$  (half-life: 800KeV) of a half-life.

[0024] As typically shown in drawing 2, an electromagnetic lens 3 consists of frame 3a of the permeability soft iron put on the surroundings of a medial axis in the shape of the same axle, and coil 3w, and constitutes a lens magnetic field by the stray magnetic field of the magnetic flux produced about the gap 13 between the magnetic poles 3t and 3b excited by coil 3w through the current. Therefore, the effective magnetic field of a lens is limited within the corner section of magnetic poles 3t or 3b, as dotted lines 14t and 14b show a bound in drawing 2. Although this effective magnetic field is based also on the magnitude of a line source 1 or a container 2, it is desirable to obtain the perpendicular direction magnetic field of sufficient flux density in space with a diameter [ of 20-150mm ] and a height of about 20-150mm. magnetic field strength -- a lens center position -- 0.1-0.3 -- if it can obtain about T, positive electron can fully be converged. A permanent magnet may be used for it if necessary magnetic field strength is obtained by excitation of this lens.

[0025] A positive electron line source is on extension of the shaft which connects the core of an electromagnetic lens, and the core of a measured ingredient, and although arranged to the opposite side with a measured ingredient to an electromagnetic lens, it shall have the device which the distance of a positive electron line source and an electromagnetic lens can move to the location of arbitration on said shaft, and can be fixed in the location. This is for making it easy to converge most many positive electron on a measured ingredient according to the line source to be used, without changing the magnetic field strength of an electromagnetic lens. Although it does not limit especially, as for the part approaching an electromagnetic lens, it is [ that this migration and immobilization should just utilize the fixture generally used ] desirable to use the non-magnetic material which does not disturb a magnetic field. The fixture which can be changed and fixed to arbitration on said shaft may be arranged in the container made into a vacuum, may carry out the seal of the movable shaft using an O ring etc., and may arrange it out of a container so that it may illustrate to drawing 1.

[0026] The center position of a line source is out of an effective magnetic field, and exceeds 14t of effective magnetic field upper limit of an electromagnetic lens, and the positive electron line source over an electromagnetic lens presupposes that it is within the limits to less than 1.5 times of the effective aperture of an electromagnetic lens, or the bore of a container. Namely, the spacing L shown in drawing 2 exceeds 0, can move to the location of arbitration within the limits of 1.5 or less times of the bore of a container 2, and is just fixed. Because it will be necessary to strengthen a magnetic field more, suppose that the center position of a line source exceeds the effective magnetic field upper limit of a lens in the location below this. Moreover, it carries out to less than 1.5 times of the effective aperture of an electromagnetic lens because the positive electron included in a lens will decrease in number, if distance is detached more than this. Here, the effective aperture of an electromagnetic lens is not the aperture of electromagnetic lens 3 itself but a bore of the container 2 arranged in a lens. Although what was emitted from the line source at less than about 35 degrees of solid angles to the lens can be converged, positive electron cannot be used, if it collides with a vessel wall even if it is in the effective magnetic field of a lens. Then, suppose that a line source is put on less than 1.5 times of the container bore in the part by which the electromagnetic lens has been arranged, i.e., effective aperture.

[0027] The positive electron detector 5 is placed between an electromagnetic lens 3 and the measured ingredient 6. Although the combination of a thin plastic scintillator and a thin photo multiplier is sufficient as this, since sensibility will fall greatly if it is made thin, even if it makes plastic scintillator thin, it is good [ plastic scintillator ] to use the Avalanche

photodiode with few falls of sensibility. However, making the thickness thin and enlarging transparency effective area has a limitation from a strong fall and the difficulty of production. Then, if a positive electron line installs near the location converged with an electromagnetic lens, it is not necessary to enlarge transparency effective area of diode. As a result of deciding to use in the range in which this area does not become large and making a silicon substrate, pi layer, etc. thin, it turned out that the Avalanche photodiode of the range of 50-200-micrometer thickness is applicable. If less than 50 micrometers, mechanical strengths run short, and if it becomes the thickness exceeding 200 micrometers, the energy-absorbing at the time of detection will become large.

[0028] The scintillation counter used for the usual gamma ray counting should just be used for the gamma ray detector 7 from a device under test. In this case, although one set of a measuring instrument is sufficient, the disappearance by the collision with the electron of positive electron installs two sets of measuring instruments mutually face to face centering on a measured ingredient, and since two gamma rays of an opposite direction are surely emitted mutually, if only the gamma ray detected by coincidence by two sets is measured, its detection precision will improve.

[0029] Since positive electron collides with the molecule of air and produces reduction and dispersion of energy when flying the inside of atmospheric air, a line source 1, the positive electron detector 5, and device-under-test 6 grade are put in into the container 2 which can be exhausted to a vacuum, and the trajectory of the positive electron from the line source 1 to the measured ingredient 6 is maintained at a vacuum. As for the pressure in the vacuum housing at this time, it is desirable to consider as the vacuum in which a pressure is less than  $1 \times 10^{-4}$  Torr as well as the case where electron rays, such as the usual Braun tube, are treated. By this, the improvement in the increase of the number of positive electron and sensibility and the compaction of time amount which carry out incidence to a device under test are attained.

[0030] In defective measurement using positive electron, the energy distribution of the gamma ray emitted at the time of disappearance other than the approach of measuring the life to disappearance of positive electron after measured ingredient incidence and few gap include angles from the opposite between two gamma rays emitted may be measured. For example, it is the case where measure Doppler broadening which shows change of energy distribution, ask for an S parameter, or use a field-like gamma ray detector, and it asks for a two-dimensional angle correlation spectrum etc. In this case, what is necessary is not to detect the positive electron at the time of incidence, to remove and just to measure, not using the positive electron detector 5.

[0031] After positive electron detects the passage, while the width of face of a positive electron line does not spread, it is desirable to carry out incidence to a measured ingredient. for this reason -- although it is necessary to make a positive electron detector and a measured ingredient approach -- this -- heating of a measured ingredient and cooling -- an appliance -- installation of an implement, or measurement of an emission gamma ray -- an appliance -- a limit is received in the installation location of an implement. Then, as shown in drawing 3, the one more electromagnetic lens 16 is placed between the positive electron detector 5 and the measured ingredient 6, it may converge again and incidence of the positive electron line 4 which passed the detector 5 may be carried out to the measured ingredient 6. thus -- if it carries out, without it will be restricted to the location of a positive electron line detector -- various fixtures, i.e., heating, and cooling -- an appliance -- an implement 17 and a measuring instrument can be installed. Moreover, by converging on two steps, energy judgment of positive electron is performed more to a precision, and the accuracy of measurement improves.

[0032]

[Example] The example of a prototype of the ingredient evaluation equipment using the positive electron which installed two electromagnetic lenses of a configuration of having been shown in drawing 3 is explained. Aluminium alloy tubing (A6063TD) with the diameter of 40mm, a thickness [ of 3mm ], and a die length of about 400mm was used as a vacuum housing 2, the flange for attaching in tubing upper limit the fixture which installs a line source 1 was prepared, and the line source 1 was attached here through the line source holder 9 in the arbitration location of the vertical direction at the fixture 11 which can carry out migration immobilization through the vacuum seal 10. the flange for the fixture which installs the measured ingredient 6 in a tubing lower limit -- preparing -- tubing -- the evacuation opening 8 of the diameter of said was mostly formed in the center section. The positive electron detector 5 was attached near this exhaust port 8. An electromagnetic lens 3 is made into the outside iron core configuration which covered the outside of an exiting coil with the soft iron for magnets, the effective magnetic field of a lens is space with a diameter [ of 72mm ], and a height of 50mm, and the magnetic field of the center position of this space is maximum 0.31T. The effective photoelectric surface used the Avalanche photodiode with a thickness of 100 micrometers for the detector 5 of the positive electron to pass on 5mm square. Between the positive electron detector 5 and the measured ingredient 6, the electromagnetic lens 16 of a thing

and isomorphism used directly under the line source was installed. Distance from a positive electron line source to a measured ingredient side was set to about 300mm. Evacuation is the combination of the oil rotary vacuum pump of exhaust velocity 160 L/s, and the turbo molecular pump of ultimate-pressure force 10-8Torr and exhaust velocity 145 L/s. [0033] 100microcurie 22Na was used for the positive electron line source, from the upper limit of the effective magnetic field of an electromagnetic lens, L [ in / for the core of a line source / 5mm upper part, i.e., drawing 2 , ] was set to 5mm, and the magnetic field of the center position of two electromagnetic lenses was set to 0.12T, respectively. After having approached, having arranged the scintillation counter of BaF2 to the down side, using a silicon wafer with a thickness of 1mm as a measured ingredient and setting the pressure of evacuation to 10-6Torr, the life of positive electron was measured. The numbers of positive electron effective in the life measurement measured on that occasion were 50 counts / second, and even if it made the location of a line source higher than this and made it low, reduction of the number of counts was accepted. The positive electron life was measured using the 100microcurie same 22Na by the usual approach of sandwiching a line source with the silicon wafer of two sheets for the comparison. The effective counts in that case were 200 counts / second.

[0034] Next, the line source was changed into 100microcurie 68germanium, the core of a line source was made into 15mm upper part from the upper limit of an effective magnetic field, the magnetic field of the center position of two electromagnetic lenses was set to 0.13T, respectively, and the life of positive electron was measured with the silicon wafer with a thickness of 1mm last time similarly. Consequently, the effective count of 60 counts / second was able to be obtained.

[0035] Thus, when using the equipment of this invention, in spite of having set distance of a line source and a measured ingredient to 300mm, sharp reduction of the count of effective positive electron can be inhibited. Moreover, although the positive electron energy of a line source changed a lot, it is not necessary to change the magnetic field of an electromagnetic lens sharply, and it can converge positive electron effectively.

[0036]

[Effect of the Invention] Incidence of the positive electron was carried out to the ingredient, the life was measured, and the positive electron line source and the measured ingredient were conventionally stuck and arranged in the ingredient appraisal method which measures the produced gamma ray. On the other hand, a positive electron line source and a measured ingredient are detached and installed, and moreover the equipment of this invention can compensate the sharp fall of the number of effective positive electron. Moreover, even if the positive electron energy of a line source changes a lot, it can apply, without changing the magnetic field strength of the electromagnetic lens for focusing a lot. By this, the measurement of a positive electron life and generating gamma ray energy measurement which the crystallographic very small defect which exists in an ingredient can evaluate to a precision can be utilized more effectively, and it can \*\* to upgrading of the ingredient used for precision techniques, such as an LSI substrate.

---

[Translation done.]

JAPANESE

[JP,2001-116706,A]

---

CLAIMS DETAILED DESCRIPTION TECHNICAL FIELD PRIOR ART EFFECT OF THE INVENTION TECHNICAL  
PROBLEM MEANS EXAMPLE DESCRIPTION OF DRAWINGS DRAWINGS

---

[Translation done.]

\* NOTICES \*

Japan Patent Office is not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. \*\*\*\* shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

---

DESCRIPTION OF DRAWINGS

---

[Brief Description of the Drawings]

[Drawing 1] It is a mimetic diagram explaining arrangement of the main component parts of the ingredient evaluation equipment using positive electron.

[Drawing 2] It is drawing which explains physical relationship with a positive electron line source to be an electromagnetic lens.

[Drawing 3] It is a mimetic diagram explaining the arrangement of the main component parts of the ingredient evaluation equipment using positive electron which made two steps the electromagnetic lens for positive electron convergence.

[Description of Notations]

1 Positive Electron Line Source 2 Vacuum Housing 3 Electromagnetic Lens, 3a Electromagnetic Lens Frame, 3t An electromagnetic lens magnetic pole and 3b Electromagnetic lens magnetic pole 3w Electromagnetic lens coil, 4 Positive electron line 5 Positive electron detector 6 A measured ingredient and 7 Gamma ray detector, 8 Evacuation opening 9 A line source holder and 10 Vacuum seal section 11 A line source migration fixture and 12 Lens shaft 13 The gap between lens magnetic poles, and 14t Effective magnetic field upper limit 14b An effective magnetic field minimum and 16 An electromagnetic lens and 17 Instrument for heating / cooling of a measured ingredient

---

[Translation done.]